"نشریه علوم زراعی ایران"
جلد بیست و ششم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۳

مقاله پژوهشی

اثر محلول‌پاشی دودآب گیاهی بر رشد و عملکرد دانه ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در شرایط دیم

Effect of foliar application of plant-derived smoke-water on growth and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under rainfed conditions

آمنه اکبرزاده شرفی[۱]، سعید جلالی هنرمند[۲]، حمیدرضا چقازردی[۳] و محمداقبال قبادی[۴]

چکیده

اکبرزاده شرفی، آ.، س. جلالی هنرمند، ح.ر. چقازردی و م.ا. قبادی. ۱۴۰۳. اثر محلول‌پاشی دودآب گیاهی بر رشد و عملکرد دانه ارقام گندم نان (*Triticum aestivum* L.) در شرایط دیم. **نشریه علوم زراعی ایران. ۲۶ (۱): ۳۴-۱۹.**

تنش خشکی یک عامل محدود کننده مهم برای بهره‌وری کشاورزی در سرتاسر جهان محسوب شده و راهکارهای مختلفی برای کاهش اثر سوء تنش خشکی در گیاهان ارائه شده است. کاریکین حاصل از سوزاندن بقایای گیاهی (دودآب)، به‌عنوان یک شبه فیتوهورمون تنظیم کننده رشد و تمایز گیاه در شرایط تنش خشکی شناخته شده‌است. به‌منظور ارزیابی اثر محلول‌پاشی برگی دودآب بر شاخص‌های رشد، عملکرد و برخی از اجزای عملکرد دانه گندم نان، آزمایش در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه رازی کرمانشاه، در دو سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل ارقام گندم نان دیم (آذر۲ و ریژاو) و محلول‌پاشی دودآب با غلظت یک در هزار (۱:۱۰۰۰ حجمی/حجمی) در ۱۱ سطح شامل عدم محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی در مراحل برجستگی دوگانه، تشکیل گره دوم، ظهور سنبله، گرده‌افشانی، برجستگی دوگانه + تشکیل گره دوم، برجستگی دوگانه+ ظهور سنبله، برجستگی دوگانه + گرده‌افشانی، تشکیل گره دوم + ظهور سنبله، تشکیل گره دوم + گرده‌افشانی، ظهور سنبله + گرده‌افشانی بودند. نتایج نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۲۹۶۰ کیلوگرم در هکتار)، شاخص سطح برگ (۳/۹۶) و شاخص برداشت (۳۶/۱ درصد) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه+ تشکیل گره دوم به‌دست آمد. بیشترین عملکرد زیستی (۸۰۶۰ کیلوگرم در هکتار) در محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه + ظهور سنبله بود. محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه+ تشکیل گره دوم باعث بهبود عملکرد دانه در ارقام ریژاو و آذر۲ (به‌ترتیب ۳۰ و ۳۴ درصد افزایش نسبت به شاهد) شد. نتایج این تحقیق نشان داد که محلول‌پاشی دودآب در مرحله رشد زایشی، فناوری کاربردی مناسبی برای بهبود عملکرد دانه گندم در زراعت دیم می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: برجستگی دوگانه، دودآب، شاخص برداشت، گرده‌افشانی و گندم دیم

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹ این مقاله مستخرج از رساله دکتری نگارنده اول می باشد

۱- دانشجوی دکتری دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- دانشیار دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران (مکاتبه کننده) (پست الکترونیک: sjhonarmand@razi.ac.ir)
۳- استادیار دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۴- دانشیار دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

Effect of foliar application of plant-derived smoke-water on growth and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under rainfed conditions

Akbarzade Sharafi, A.[1], Jalali Honarmand, S.[2], Chaghazardi, H.R.[3] and Ghobadi, M.E.[4]

ABSTRACT

Akbarzade Sharafi, A., Jalali Honarmand, S., Chaghazardi, H.R. and Ghobadi, M.E. 2025. Effect of foliar application of plant-derived smoke-water on growth and grain yield of bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars under rainfed conditions**. Iranian Journal of Crop Sciences. 26(1): 19-34. (In Persian).**

Introduction: Grain yield of rainfed wheat is very low in Iran. Therefore, it is necessary to investigate and develop crop management techniques for increasing of wheat yield in rainfed areas in Iran. The active compounds in the smoke are butenolide known as Karrikin and Cyanohydrin. Karrikins are small organic chemicals with known bioactive compounds related to the chemical 3-methyl-2H-furo [2,3-c]pyran-2-one. Karrikins are produced through pyrolysis of simple carbohydrates such as xylose, glucose or cellulose. There is evidence that karrikin has potential functions in mediating abiotic stress tolerance in plants. This experiment was carried out to study the effect of foliar application of smoke water derived from plant in different growth stages and identify the suitable time for application and its effect on some characteristics and grain yield of bread wheat in rainfed conditions in Iran.

Materials and Methods: To evaluate the effect of foliar application of plant derived smoke water on the growth characteristics, grain yield and its components of bread wheat a field experiment was carried out in the research field of the agricultural and natural resources campus, Razi University of Kermanshah, Kermansha, Iran in 2019-20 and 2020-21 cropping seasons as factorial arrangement in randomized complete block design with three replications. Experimental treatments included; rainfed bread wheat cultivars (Azer2 and Rijaw) and foliar application of smoke water with concentration of one milliliter per liter equivalent (1:1000 v/v) at eleven levels including no application (control), application in the stages of double ridge, second node detectable, heading, anthesis, double ridge + second node detectable, double ridge + heading, double ridge + anthesis, second node detectable + heading, second node detectable + anthesis and heading + anthesis. Plant height, leaf area index, grain yield, biological yield, number of grain.spike^{-1}, 1000 grain weight were measured and recorded.

Result: The results showed that the highest grain yield (2960 kg.ha^{-1}), leaf area index (3.96), biological yield (8060 kg.ha^{-1}), harvest index (36.1%) in foliar application of smoke water at double rige + second node detcteable stages. Foliar application of smoked water at double ridge+second node detectable stages improved grain yield in cv. Rijaw and cv. Azar2 by 30% and 34%, respectively, compared to control.

Conclusion: The results of this experiment showed that foliar application of smokewater in the reproductive growth stage was crop management technique to increase grain yield of bread wheat in rainfed growing areas in Iran.

Key words: Anthesis, Double ridge, Harvest index, Rainfed wheat and Smoke water

Received: December, 2023 **Accepted: February, 2024**

1. PhD Student, Razi University, Kermanshah, Iran
2. Associate Prof., Razi University, Kermanshah, Iran (Corresponding author) (Email: sjhonarmand@razi.ac.ir)
3. Assistant Prof., Razi University, Kermanshah, Iran
4. Associate Prof., Razi University, Kermanshah, Iran

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان مهم‌ترین گیاه زراعی جهان، غذای حدود دو میلیارد نفر را تامین می‌کند و افزایش عملکرد آن جهت تامین امنیت غذایی این میزان جمعیت در حال رشد، ضروری است. نتایج تحقیقات نشان داده است که کمبود آب باعث کاهش ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت در گندم می‌شود (Sallam *et al.*, 2019).

آتش یک عنصر طبیعی مهم و یک ابزار مهم مدیریتی در بسیاری از بوم نظام‌ها محسوب می‌شود. برخی از جنبه‌های آتش، مانند گرما و رهاسازی سریع مواد مغذی از بافت‌های سوخته گیاه مورد مطالعه قرار گرفته است. دود حاصل از سوزاندن گیاهان عمدتا به دو صورت آئروسول (گاز) و دودآب (محلول) در کشاورزی قابل استفاده است. ترکیبات فعال زیستی موجود در دود در آب قابل حل بوده و در غلظت‌های کم، به‌عنوان شبه فیتوهورمون‌ها عمل کرده و باعث بهبود رشد و تمایز گیاه می‌شود (Govindaraj *et al.*, 2016; Noroozi Shahri *et al.*, 2020). کاریکین یکی از انواع دودآب است که ساختار شیمیایی آن با ساختار استریگولاکتون (یک هورمون درون‌زای گیاهی) شباهت دارد (Waters and Smith, 2013). دودآب دارای فعالیت شبه سایتوکینینی است (Jain *et al.*, 2008). هر چند سازوکار عمل دودآب هنوز مشخص نیست، لیکن مشخص شده است که باعث افزایش سطح سایتوکینین در گیاه می‌شود (Aremu *et al.*, 2016). دودآب علاوه بر ترکیبات زیست فعال و ترکیبات فنولیک، حاوی عنصر نیتروژن در شکل‌های نیترات و آمونیوم است که می‌توانند به تامین نیتروژن مورد نیاز گیاه کمک کند. علاوه بر این، بیوسنتز سایتوکینین به وسیله نیترات تنظیم می‌شود (Takei *et al.*, 2004). دودآب در کشاورزی متداول و ارگانیک قابل استفاده بوده و در شرایط نامطلوب مانند دماهای پایین یا بالا و پتانسیل آبی پایین خاک، می‌تواند باعث تقویت گیاه شود. گزارش شده‌است که دود حاصل از سوزاندن گیاهان علاوه بر کمک به رشد گیاه، باعث محافظت از آن در برابر تنش‌های غیر زنده می‌شود (Khatoon *et al.*, 2020). فعالیت زیستی یک ترکیب بوتنولیدی به‌نام 5-alkoxy-3-methyl-2(5H)- furanones برای اولین بار در کلئوپتیل گیاهچه‌های گندم مورد مطالعه قرار گرفته و اثر تنظیم‌کنندگی رشدی وابسته به غلظت آن بر رشد گیاهچه گزارش شد (Pepperman and Cutler, 1991). نتایج تحقیقات نشان داده است که محلول‌پاشی دود آب با غلظت یک درصد، باعث افزایش قابل توجه عملکرد دانه و عملکرد زیستی گندم در مقایسه با شاهد شد (Noroozi Shahri *et al.*, 2017) و در اثر آن افت عملکرد ناشی از کمبود نیتروژن تا حدودی جبران شد (Gholami *et al.*, 2017). در آزمایش مرادی (Moradi, 2018) نیز محلول‌پاشی دودآب (با غلظت ۱:۵۰۰ حجمی/حجمی)، نتایج مشابهی گزارش شده است، اما در رابطه با اثر محلول‌پاشی دودآب در شرایط تنش خشکی نتایجی گزارش نشده است.

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر مصرف دود حاصل از بقایای گیاهی بر از ویژگی‌های زراعی و فیزیولوژیک گیاه گندم و تعیین بهترین زمان برای محلول‌پاشی دودآب بر عملکرد دانه گندم در شرایط دیم انجام شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۳۹۹- ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در شرایط دیم به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه با طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی، عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع از سطح دریا ۱۳۱۹ متر، انجام شد. مشخصات آب و هوایی محل اجرای آزمایش طی دو

سال آزمایش در جدول ۱ ارائه شده‌است. تیمارهای آزمایشی شامل ارقام گندم دیم آذر۲ و ریژاو و محلول‌پاشی دودآب با غلظت یک در هزار (۱:۱۰۰۰ حجمی/ حجمی) در مراحل رشدی گندم در یازده سطح شامل عدم محلول‌پاشی (شاهد)، محلول‌پاشی در مراحل برجستگی دوگانه (ZGS 13)، تشکیل گره دوم (ZGS 32)، ظهور سنبله (ZGS 50)، گرده‌افشانی (ZGS65)، برجستگی دوگانه+ تشکیل گره دوم، برجستگی دوگانه+ ظهور سنبله، برجستگی دوگانه+ گرده‌افشانی، تشکیل گره دوم+ ظهور سنبله، تشکیل گره دوم+ گرده‌افشانی، ظهور سنبله+ گرده‌افشانی بودند. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است.

تناوب زراعی در مزرعه محل اجرای آزمایش به‌صورت نخود- کاملینا- گندم بود. آماده‌سازی خاک مزرعه شامل خاک‌ورزی اولیه و سپس دیسک و تسطیح در ابتدای پاییز انجام شد. براساس نتایج آزمون خاک، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر (از منبع کود سوپرفسفات تریپل)، و ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیترون (از منبع کود اوره) به خاک داده شد. تمامی کود فسفر و ۵۰ درصد کود نیتروژن در زمان کاشت به خاک اضافه شدند. ۵۰ درصد دوم کود نیتروژن در ابتدای مرحله طویل شدن ساقه به خاک داده شد. بذرها در کرت‌هایی به ابعاد ۲×۴ متر، به تعداد هشت ردیف، با فاصله ردیف ۲۵ سانتی‌متر و تراکم حدود ۳۰۰ بذر در مترمربع کاشته شدند. تاریخ کاشت در هر دو سال نیمه دوم آبان بود. برای تهیه دودآب دستگاهی برمبنای نتایج تحقیقات قبلی (VanStaden *et al.*, 2004)، با تغییرات، طراحی شد (شکل ۱). تغییر در طراحی دستگاه به‌منظور کاهش اتلاف دود حاصل از سوزاندن گیاهان، افزایش مدت زمان ورود دود به آب، کاهش بیشتر دمای دود حاصل از سوخت جهت افزایش انحلال‌پذیری آن، افزایش سطح تماس ذرات دود با آب و به‌طور کلی، افزایش کارایی تولید محلول پایه دودآب انجام شد. دود حاصل از سوزاندن ترکیب بوته‌های خشک گندم و یونجه با نسبت مساوی با استفاده از یک ژنراتور، مُبَرِد و پمپ، از دو مخزن حاوی آب مقطر تا سوختن کامل مواد گیاهی، عبور داده شد. این عمل تا زمانی که که آب مقطر به رنگ تیره و چگال درآید ادامه داده شد. محلول حاصل پس از عبور دادن از صافی به عنوان محلول پایه درنظر گرفته شد. محلول پایه براساس نتایج تحقیقات قبلی (Demir *et al.*, 2012) با استفاده از آب مقطر تا حد غلظت یک در هزار (۱:۱۰۰۰ حجمی/ حجمی) رقیق شده و به‌عنوان تیمار در مراحل مختلف رشد بوته‌های گندم مصرف شد. محلول‌پاشی با استفاده از سمپاش دستی با نازل سر صاف (باد بزنی) و حجم پاشش ۱۰۰ میلی‌لیتر در مترمربع روی اندام‌های هوایی انجام شد. ترکیبات دودآب در جدول ۳ ارائه شده است (Chumpookam *et al.*, 2012).

ارتفاع بوته در مرحله گرده‌افشانی بوته‌های هر کرت از سطح خاک (طوقه) تا نوک بالاترین سنبله، بدون در نظرگرفتن ریشک، اندازه‌گیری شد. بعداز محلول‌پاشی در مرحله گرده‌افشانی، مساحت برگ‌ها با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ اندازه‌گیری شده و سپس شاخص سطح برگ محاسبه شد. عملکرد دانه و عملکرد زیستی پس از حذف حاشیه‌ها، با برداشت محصول هر کرت در دهه اول تیر اندازه‌گیری و عملکرد دانه براساس رطوبت حدود 14 درصد ثبت شد. تعداد دانه در سنبله برای هر کرت شمارش و پس از خرمن‌کوبی، وزن هزار دانه برای هر کرت اندازه‌گیری شد. براساس اطلاعات عملکرد دانه و عملکرد زیستی، شاخص برداشت محاسبه شد.

تجزیه واریانس و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از نرم افزارSAS 9.1 انجام شد. یکنواختی واریانس خطای سال با استفاده از آزمون بارتلت ارزیابی و با توجه به همگنی واریانس خطای آزمایشی، داده‌ها به صورت مرکب تجزیه شدند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

جدول ۱- اطلاعات هواشناسی محل اجرای آزمایش (۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹)

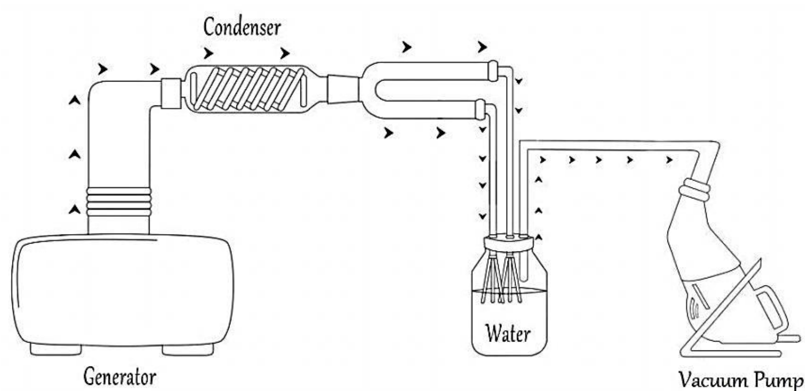
Table 1. Meteorological information of the experiment site (2019-2020 and 2020-2021)

سال Year	Month	ماه	میانگین حداکثر دما Average Max. temperature (˚C)	میانگین حداقل دما Average Min. temperature (˚C)	بارندگی Precipitation (mm)
۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-2020	October	مهر	30.5	11.0	15.4
	November	آبان	18.0	3.8	56.1
	December	آذر	12.2	0.5	114.8
	January	دی	11.3	-1.5	25.6
	February	بهمن	9.9	-1.8	43.5
	March	اسفند	16.7	3.7	148.2
	April	فروردین	18.0	4.5	93.3
	May	اردیبهشت	25.4	9.4	40.1
	June	خرداد	34.5	13.2	0.0
۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-2021	October	مهر	29.0	9.0	8.0
	November	آبان	21.7	5.5	45.3
	December	آذر	11.7	2.4	131.8
	January	دی	12.2	-3.6	7.60
	February	بهمن	13.4	-0.5	93.5
	March	اسفند	14.8	1.1	21.7
	April	فروردین	22.5	5.60	3.8
	May	اردیبهشت	30.2	10.6	8.0
	June	خرداد	35.6	13.2	0.0

جدول۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 2. Chemical and physical properties of the soil at the experiment site

بافت خاک Soil texture	عمق خاک Soil depth (cm)	ماده آلی Organic carbon (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	رس Clay (%)	نیتروژن کل N (%)	پتاسیم K (mg.kg^{-1})	فسفر P (mg.kg^{-1})	هدایت الکتریکی EC (dS.m^{-1})	اسیدیته pH
رسی- سیلتی Clay-Silty	0-30	1.6	44.7	2.4	52.9	0.15	360	7.2	0.66	7.8



شکل۱- طرح دستگاه تهیه دودآب (شماره ثبت اختراع ۹۹۰۱۹)

Fig. 1. Diagram of smoke-water production device (patent number 99019)

جدول ۳- ویژگی‌های شیمیایی دودآب گیاهی

Table 3. Chemical properties of plant-derived smoke-water

Characteristic	ویژگی	مقدار Value ($mg.l^{-1}$)	Characteristic	ویژگی	مقدار Value ($mg.l^{-1}$)	Characteristic	ویژگی	مقدار Value
Phosphorus	فسفر	110	Sucrose	ساکارز	42.0	pH		4.6
Potassium	پتاسیم	200	Fructose	فروکتوز	25.0	EC	هدایت الکتریکی	2.17 ($mS.cm^{-1}$)
Calcium	کلسیم	2.4	Glucose	گلوکز	71.0	Free amino acids	آمینواسیدهای آزاد	0.392 ($\mu mol.ml^{-1}$)
Magnesium	منیزیم	0.53	Tartaric acid	اسید تارتاریک	720	Soluble carbohydrates	کربوهیدارت‌های محلول	1.98 (%)
Manganese	منگنز	0.03	Nitrate	نیترات	2.96	Ethylene	اتیلن	1.7 (nmole $C_2H_4.ml^{-1}$ SW)
Zinc	روی	0.52	Sulfate	سولفات	309.8			
Boron	بور	6.51	Ammonium	آمونیوم	6135			
Fluorine	فلوئور	85.2						
Chlorine	کلر	12.1						
Total phenols	فنول کل	1471						

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، محلول‌پاشی دودآب و رقم در سطح احتمال یک درصد و برهمکنش سال و رقم در سطح احتمال پنج درصد، بر ارتفاع بوته ارقام گندم معنی‌دار بود. ارتفاع بوته در رقم ریژاو (۶۳/۱ سانتی‌متر) و در رقم آذر۲ (۵۹/۵ سانتی‌متر) بود. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته در سال اول (۷۶ سانتی‌متر) مربوط به محلول‌پاشی دودآب در مرحله برجستگی دوگانه+ تشکیل گره دوم و در سال دوم (۵۲/۱ سانتی‌متر) مربوط به محلول‌پاشی دودآب در مرحله تشکیل گره دوم+ ظهور سنبله بود (جدول ۴). کم‌ترین ارتفاع بوته در تیمار عدم محلول‌پاشی بدست آمد که این موضوع با نتایج آزمایش فرهت و همکاران (Farhat *et al.*, 2021) مبنی بر کاهش ارتفاع بوته گندم در شرایط کمبود آب هم‌خوانی دارد. کاهش ارتفاع بوته در شرایط تنش خشکی به‌دلیل از دست دادن آب پروتوپلاسم و کاهش آماس که باعث کاهش تقسیمات سلولی و کاهش تعداد و اندازه سلول‌ها می‌شود، می‌باشد (Mehraban *et al.*, 2019). نتایج یک آزمایش نشان داد که تیمار بذرهای گندم با دود (به‌صورت آئروسل) (به مدت یک و دو ساعت)، باعث افزایش طول اندام هوایی گیاهچه (۱۱/۷ درصد) نسبت به شاهد شد (Iqbal *et al.*, 2018). بر این اساس به نظر می‌رسد استفاده از دودآب باعث افزایش ارتفاع بوته گندم می‌شود.

جدول۴- مقایسه میانگین ارتفاع بوته ارقام گندم در برهمکنش تیمارهای سال و محلول‌پاشی دودآب

Table 4. Mean comparison of plant height of wheat cultivars in interaction of year and foliar application of smoke-water treatments

سال Year	Foliar application treatments / Growth stages	تیمارهای محلول‌پاشی / مراحل رشد	ارتفاع بوته Plant height (cm)
۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-2020	Control (No foliar application)	عدم محلول‌پاشی (شاهد)	68.6e
	Double ridge	برجستگی دوگانه	72.1bcd
	2nd node detectable	تشکیل گره دوم	75.9a
	Heading	ظهور سنبله	72.4bcd
	Anthesis	گرده‌افشانی	74.5ab
	Double ridge+2nd node detectable	برجستگی دوگانه+تشکیل گره دوم	76.0a
	Double ridge+Heading	برجستگی دوگانه+ظهور سنبله	72.0bcd
	Double ridge+Anthesis	برجستگی دوگانه+گرده‌افشانی	72.1bcd
	2nd node detectable+Heading	تشکیل گره دوم+ظهور سنبله	71.4d
	2nd node detectable+Anthesis	تشکیل گره دوم+گرده‌افشانی	74.3abc
	Heading+Anthesis	ظهور سنبله+گرده‌افشانی	71.6cd
۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-2021	Control (No foliar application)	عدم محلول‌پاشی (شاهد)	47.5h
	Double ridge	برجستگی دوگانه	49.3gh
	2nd node detectable	تشکیل گره دوم	49.9f-h
	Heading	ظهور سنبله	48.5gh
	Anthesis	گرده‌افشانی	49.9f-h
	Double ridge+2nd node detectable	برجستگی دوگانه+تشکیل گره دوم	51.1fg
	Double ridge+Heading	برجستگی دوگانه+ظهور سنبله	49.4gh
	Double ridge+Anthesis	برجستگی دوگانه+گرده‌افشانی	49.3gh
	2nd node detectable+Heading	تشکیل گره دوم+ظهور سنبله	52.1f
	2nd node detectable+Anthesis	تشکیل گره دوم+گرده‌افشانی	50.59g
	Heading+Anthesis	ظهور سنبله+گرده‌افشانی	49.1gh

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال و برهمکنش محلول‌پاشی دودآب و رقم در سطح احتمال یک درصد بر شاخص سطح برگ ارقام گندم معنی‌دار بود. بیش‌ترین مقدار شاخص سطح برگ برای رقم ریژاو (۳/۹۶) و برای رقم آذر ۲ (۳/۶۴) در محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه+ تشکیل گره دوم بود (جدول ۵). میزان شاخص سطح برگ در سال اول (۳/۲۶) و سال دوم (۲/۹۴) بود (جدول ۶). کم‌ترین مقدار شاخص سطح برگ در تیمار عدم محلول‌پاشی بدست آمد که با نتایج ظهیر و همکاران (Zaheer *et al.*, 2019) مبنی بر کاهش شاخص سطح برگ در شرایط تنش خشکی هم‌خوانی دارد. تنش خشکی به دلیل پیری زودرس گیاه، باعث کاهش شاخص سطح برگ می‌شود. کاهش سرعت پیری برگ، به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، باعث افزایش انتقال مجدد مواد فتوسنتزی ذخیره شده و بهبود روابط منبع و مخزن شده و باعث بهبود عملکرد دانه در گندم می‌شود (Joshi *et al.*, 2019). به‌نظر می‌رسد که دودآب با تاخیر در سرعت پیری برگ و فراهمی مواد پرورده مورد نیاز برگ، باعث افزایش شاخص سطح برگ و بهبود عملکرد دانه گندم می‌شود.

جدول ۵- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ ارقام گندم در برهمکنش تیمارهای رقم و محلول‌پاشی دودآب

Table 5. Mean comparison of leaf area index of wheat cultivars in interaction of cultivar and foliar application of smoke-water treatments

ارقام گندم Wheat cultivars	Foliar application treatments Growth stages	تیمارهای محلول‌پاشی مراحل رشد	شاخص سطح برگ leaf area index
آذر۲ Azar2	Control (No foliar application)	عدم محلول‌پاشی (شاهد)	2.50i
	Double ridge	برجستگی دوگانه	3.25c
	2nd node detectable	تشکیل گره دوم	3.0ed
	Heading	ظهور سنبله	2.88fg
	Anthesis	گرده‌افشانی	2.94d-f
	Double ridge+2nd node detectable	برجستگی دوگانه+تشکیل گره دوم	3.64b
	Double ridge+Heading	برجستگی دوگانه+ظهور سنبله	2.78gh
	Double ridge+Anthesis	برجستگی دوگانه+گرده‌افشانی	3.22c
	2nd node detectable+Heading	تشکیل گره دوم+ظهور سنبله	3.01ed
	2nd node detectable+Anthesis	تشکیل گره دوم+گرده‌افشانی	3.03d
	Heading+Anthesis	ظهور سنبله+گرده‌افشانی	2.45i
ریژاو Rijaw	Control (No foliar application)	عدم محلول‌پاشی (شاهد)	2.67h
	Double ridge	برجستگی دوگانه	3.29b
	2nd node detectable	تشکیل گره دوم	3.68b
	Heading	ظهور سنبله	3.01de
	Anthesis	گرده‌افشانی	2.90e-g
	Double ridge+2nd node detectable	برجستگی دوگانه+تشکیل گره دوم	3.96a
	Double ridge+Heading	برجستگی دوگانه+ظهور سنبله	3.21c
	Double ridge+Anthesis	برجستگی دوگانه+گرده‌افشانی	3.74b
	2nd node detectable+Heading	تشکیل گره دوم+ظهور سنبله	3.18c
	2nd node detectable+Anthesis	تشکیل گره دوم+گرده‌افشانی	2.96d-f
	Heading+Anthesis	ظهور سنبله+گرده‌افشانی	2.92d-f

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

جدول ۶- مقایسه میانگین شاخص سطح برگ ارقام گندم گندم در تیمارهای محلول‌پاشی دودآب

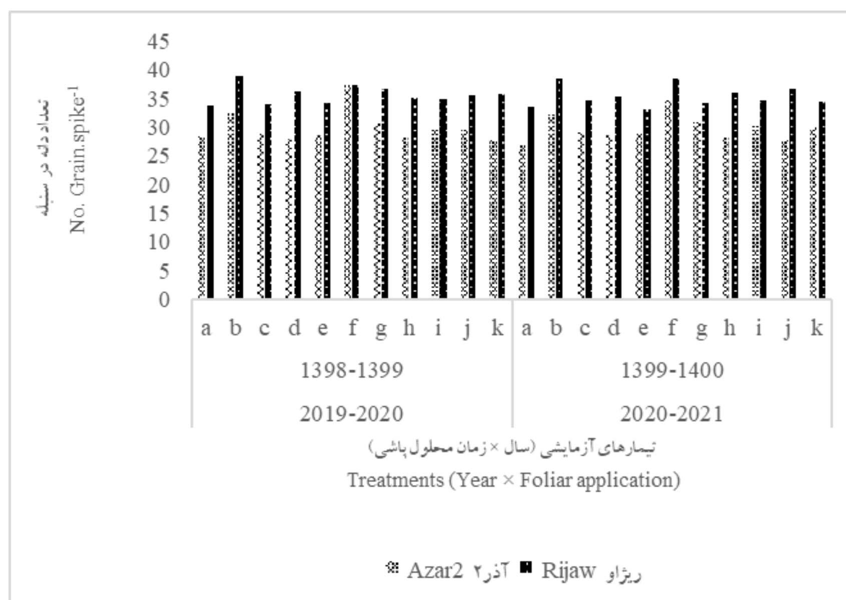
Table 6. Mean comparison of leaf area index of wheat in year

Year	سال	شاخص سطح برگ leaf area index
2019-2020	۱۳۹۹-۱۳۹۸	3.26a
2020-2021	۱۴۰۰-۱۳۹۹	2.94b

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که برهمکنش سال و محلول‌پاشی دودآب و رقم بر تعداد دانه در سنبله ارقام گندم در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین تعداد دانه در سنبله برای رقم ریژاو در سال اول (۳۹) و در سال دوم (۲۷/۳) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه و برای رقم آذر۲ در سال اول (۳۷/۳) و در سال دوم (۲۴/۷) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه+ تشکیل گره دوم بدست آمد (شکل ۲). به‌نظر می‌رسد که تفاوت در میزان بارندگی در دو سال، باعث ایجاد این تفاوت بوده باشد. کم‌ترین تعداد دانه در سنبله در تیمار عدم محلول‌پاشی بدست آمد که این موضوع با نتایج فرهت و همکاران (Farhat *et al.*, 2021) مبنی بر کاهش تعداد دانه در سنبله در شرایط کمبود آب هم‌خوانی دارد. با توجه به اینکه تعداد دانه‌ها در سنبله (تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد گلچه در سنبلچه) در مرحله پیش از گرده‌افشانی که مصادف با مرحله برجستگی دوگانه در مریستم انتهایی گندم است، شکل می‌گیرد (Jalali Honarmand *et al.*, 2016)، به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی دودآب با فعالیت شبه‌سایتوکینی در مرحله برجستگی دوگانه و تشکیل گره دوم، باعث بهبود آغازش سنبلچه‌های بارور می‌شود. به‌علاوه در مرحله ظهور سنبله نیز دودآب به دلیل دارا بودن نیتروژن باعث کاهش رقابت دانه‌ها برای جذب مواد پرورده شده و با جلوگیری از سقط گلچه‌ها، باعث تاثیر مثبت بر تعداد دانه‌ها در سنبله و عملکرد دانه می‌شود.



شکل ۲- مقایسه میانگین تعداد دانه در سنبله ارقام گندم در برهمکنش تیمارهای سال، رقم و زمان محلول‌پاشی دودآب

Fig. 2. Mean comparison of number of grain.spike^{-1} of wheat cultivars in interaction of year, cultivar and foliar application of smoke-water treatments

a: عدم محلول‌پاشی (شاهد)، b: برجستگی دوگانه، c: تشکیل گره دوم، d: ظهور سنبله، e: گرده‌افشانی، f: برجستگی دوگانه+ تشکیل گره دوم، g: برجستگی دوگانه+ظهور سنبله، h: برجستگی دوگانه+گرده‌افشانی، i: تشکیل گره دوم+ظهور سنبله، j: تشکیل گره دوم+گرده‌افشانی، k: ظهور سنبله+گرده‌افشانی

A; No foliar application (Control), b; Double ridge, c; 2nd node detectable, d; Heading, e; Anthesis, f; Double ridge+ 2nd node detectable, g; Double ridge+ Heading, h; Double ridge+ anthesis, I; 2nd node detectable+ heading, j; 2nd node detectable+ anthesis, k; Heading+ anthesis

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که سال، محلول‌پاشی دودآب و رقم بر وزن هزار دانه ارقام

گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. وزن هزار دانه ارقام گندم در سال اول (۲۹/۵ گرم) و سال دوم (۲۰/۴ گرم) بود. بیش‌ترین مقدار وزن هزار دانه در تیمار محلول‌پاشی در مرحله گرده‌افشانی (۲۶/۸ گرم) بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد (۲۲/۲ گرم)، ۲۱ درصد بیشتر بود (جدول ۷). وزن هزار دانه در گندم رقم ریژاو (۲۵/۹ گرم) به میزان هشت درصد از رقم آذر۲ (۲۴ گرم) بیشتر بود. کم‌ترین مقدار وزن هزار دانه در تیمار عدم محلول‌پاشی بدست آمد که با نتایج آزمایش هنیان و همکاران (Henian *et al.*, 2020) مبنی بر کاهش وزن هزار دانه ژنوتیپ‌های گندم در شرایط تنش خشکی هم‌خوانی دارد. یکی از مهم‌ترین اجزای عملکرد دانه، وزن هزار دانه است. این صفت نشان‌دهنده مقدار مواد پرورده انتقال یافته و انباشته شده در دانه است. وزن هزار دانه عمدتا وابسته به خصوصیات ژنتیکی رقم بوده که تحت تأثیر شرایط محیطی در طول دوره پر شدن دانه نیز قرار می‌گیرد (Guarda *et al.*,2004). گزارش شده است که کمبود آب باعث افزایش نسبت پروتئین به نشاسته در واحد حجم دانه می‌شود. این موضوع باعث کوچک‌تر شدن اندازه دانه‌ها، کاهش وزن دانه و در نهایت عملکرد دانه می‌شود (Suneja *et al.*, 2015). کمبود آب باعث بسته شدن روزنه‌ها و کاهش میزان فتوسنتز و در نتیجه کاهش تولید مواد پرورده (محدودیت منبع) که برای رشد دانه‌ها ضروری است، می‌شود. کمبود آب در طول مرحله پر شدن دانه نیز از طریق کاهش اندازه دانه (محدودیت مخزن)، باعث کاهش عملکرد دانه می‌شود. به نظر می‌رسد محلول‌پاشی دودآب با افزایش تقسیمات سلولی در مخازن فیزیولوژیک، باعث افزایش تعداد سلول‌های آندوسپرم، اندازه مخزن، قدرت مخزن و افزایش تقاضا جهت دریافت مواد پرورده در دانه‌ها می‌شود. افزایش وزن هزار دانه در تیمارهای محلول‌پاشی دودآب با یافته‌های مرادی (Moradi, 2018) نیزمطابقت دارد.

جدول ۷- مقایسه میانگین وزن هزار دانه ارقام گندم در تیمارهای محلول‌پاشی دودآب

Table 7. Mean comparison of 1000 grain weight of wheat cultivars in foliar application of smoke-water treatments

Foliar application treatments / Growth stages	تیمارهای محلول‌پاشی / مراحل رشد	وزن هزار دانه / 1000 Grain weight (g)
No foliar application (Control)	عدم محلول‌پاشی (شاهد)	22.2f
Double ridge	برجستگی دوگانه	24.2e
2nd node detectable	تشکیل گره دوم	24.4e
Heading	ظهور سنبله	25.3cd
Anthesis	گرده‌افشانی	26.8a
Double ridge+2nd node detectable	برجستگی دوگانه+ تشکیل گره دوم	26.3ab
Double ridge+Heading	برجستگی دوگانه+ظهور سنبله	24.2e
Double ridge+Anthesis	برجستگی دوگانه+گرده‌افشانی	25.6bc
2nd node detectable+Heading	تشکیل گره دوم+ظهور سنبله	24.4e
2nd node detectable+Anthesis	تشکیل گره دوم+گرده‌افشانی	24.6ed
Heading+Anthesis	ظهور سنبله+گرده‌افشانی	25.9bc

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، محلول‌پاشی دودآب و رقم و برهمکنش سال و رقم و همچنین محلول‌پاشی و رقم بر عملکرد دانه ارقام گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه مربوط به رقم ریژاو بود که در سال اول (۳۰۷۰ کیلوگرم در هکتار) نسبت به

سال دوم (۲۱۴۰ کیلوگرم در هکتار)، ۳۲ درصد بیشتر بود (جدول ۹). بیش‌ترین مقدار عملکرد دانه رقم ریژاو (۲۹۶۰ کیلوگرم در هکتار) و رقم آذر۲ (۲۴۳۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله‌برجستگی دوگانه+ تشکیل گره دوم بدست آمد که نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) به‌ترتیب ۳۲ و ۳۴ درصد بیشتر بودند (جدول ۱۰). کم‌ترین مقدار عملکرد دانه در تیمار عدم محلول‌پاشی بدست آمد که با نتایج آزمایش (Shehab-Eldeen and Farhat, 2020) مبنی بر کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های گندم در شرایط کم‌آبیاری هم‌خوانی دارد. پایین بودن عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی عمدتا به‌دلیل کاهش اجزای عملکرد مانند تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه است (Abd El-Rady and Koubisy, 2023). احتمال داده می‌شود که افزایش عملکرد دانه در تیمار محلول‌پاشی در مراحل برجستگی دوگانه و تشکیل گره دوم که هنوز رشد سریع گیاه آغاز نشده، باعث کمک به فراهمی مواد پرورده جهت هر چه بهتر طی شدن آغازش سنبلچه‌های بارور می‌شود. موسوی و همکاران (Mousavi *et al.*,2014) نیز گزارش کرده‌اند که محلول‌پاشی دودآب با افزایش صفات مطلوب زراعی، باعث افزایش عملکرد دانه گندم می‌شود.

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، محلول‌پاشی دودآب و رقم و برهمکنش سال و محلول‌پاشی، برهمکنش سال و رقم و برهمکنش محلول‌پاشی و رقم بر عملکرد زیستی ارقام گندم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین مقدار عملکرد زیستی در سال اول (۸۰۳۰ کیلوگرم در هکتار)در تیمار محلول‌پاشی در مرحله تشکیل گره دوم + ظهور سنبله و در سال دوم (۵۶۵۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه+ ظهور سنبله بدست آمد (جدول ۸). بیش‌ترین مقدار عملکرد زیستی مربوط به رقم ریژاو در سال اول (۸۰۷۰ کیلوگرم در هکتار) و در سال دوم (۵۷۱۰ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۹). بیش‌ترین مقدار عملکرد زیستی مربوط به رقم ریژاو (۸۰۶۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه+ ظهور سنبله و برای رقم آذر۲ (۶۴۲۰ کیلوگرم در در هکتار) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه + تشکیل گره دوم بود که نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) به‌ترتیب ۲۴ و ۲۷ درصد بیشتر بود (جدول ۱۰). کم‌ترین مقدار عملکرد زیستی در تیمار عدم محلول‌پاشی بدست آمد که با نتایج آزمایش ناگار و همکاران (Nagar *et al.*, 2015) مبنی بر کاهش عملکرد زیستی گندم در شرایط کمبود آب هم‌خوانی دارد. افزایش عملکرد زیستی در تیمارهای محلول‌پاشی دودآب در شرایط کمبود آب ممکن است به‌دلیل اثر فیتوهورمونی دودآب در به تأخیر افتادن پیری برگ باشد. افزایش دوام سطح برگ، باعث افزایش تولید مواد فتوسنتزی در طی فصل رشد و افزایش تولید ماده خشک گیاهی خواهد شد.

نتایج تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سال، محلول‌پاشی دودآب، رقم و برهمکنش محلول‌پاشی و رقم بر شاخص برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت در سال اول (۳۷/۶ درصد) و در سال دوم (۲۷/۷ درصد) بود. بیش‌ترین مقدار شاخص برداشت مربوط به رقم ریژاو (۳۶/۱ درصد) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه+ تشکیل گره دوم و برای رقم آذر۲ (۳۳/۹ درصد) در تیمار محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه + ظهور سنبله بود که نسبت به تیمار شاهد (عدم محلول‌پاشی) به‌ترتیب ۱۷ و ۱۴ درصد افزایش داشت (جدول ۱۰). کم‌ترین مقدار شاخص برداشت در تیمار عدم محلول‌پاشی بدست آمد که با نتایج آزمایش سالام و همکاران (Sallam *et al.*, 2019) مبنی بر کاهش عملکرد زیستی گندم و جو در شرایط تنش خشکی هم‌خوانی دارد. کاهش شاخص برداشت عمدتا به دلیل

کاهش عملکرد دانه است. شاخص برداشت نشان دهنده چگونگی توزیع مواد پرورده فتوسنتزی بین بخش‌های رویشی و زایشی گیاه است. نتایج تحقیقات نشان داده است که محلول‌پاشی دودآب باعث افزایش شاخص برداشت در گندم شده است (Mousavi *et al.*, 2014). افزایش شاخص برداشت نشان دهنده افزایش انتقال و تبدیل عملکرد زیستی به عملکرد اقتصادی است و احتمال داده می‌شود که محلول‌پاشی دودآب، با وجود شرایط کمبود آب، باعث افزایش شاخص برداشت می‌شود.

جدول ۸- مقایسه میانگین عملکرد زیستی ارقام گندم در برهمکنش تیمارهای سال و محلول‌پاشی دودآب

Table 8. Mean comparison of biological yield of wheat cultivars in interaction of year and foliar application of smoke-water treatments

سال Year	Foliar application treatments Growth stages	تیمارهای محلول‌پاشی مراحل رشد	عملکرد زیستی Biological yield (kg.ha^{-1})
۱۳۹۹-۱۳۹۸ 2019-2020	Control (No foliar application)	عدم محلول‌پاشی (شاهد)	6270f
	Double ridge	برجستگی دوگانه	7800ab
	2nd node detectable	تشکیل گره دوم	6590de
	Heading	ظهور سنبله	6640d
	Anthesis	گرده‌افشانی	6260f
	Double ridge+2nd node detectable	برجستگی دوگانه+تشکیل گره دوم	7960a
	Double ridge+Heading	برجستگی دوگانه+ظهور سنبله	7980a
	Double ridge+Anthesis	برجستگی دوگانه+گرده‌افشانی	7610b
	2nd node detectable+Heading	تشکیل گره دوم+ظهور سنبله	8030a
	2nd node detectable+Anthesis	تشکیل گره دوم+گرده‌افشانی	7010c
	Heading+Anthesis	ظهور سنبله+گرده‌افشانی	6370ef
۱۴۰۰-۱۳۹۹ 2020-2021	Control (No foliar application)	عدم محلول‌پاشی (شاهد)	4410j
	Double ridge	برجستگی دوگانه	5400g
	2nd node detectable	تشکیل گره دوم	4740i
	Heading	ظهور سنبله	4760hi
	Anthesis	گرده‌افشانی	4400j
	Double ridge+2nd node detectable	برجستگی دوگانه+تشکیل گره دوم	5510g
	Double ridge+Heading	برجستگی دوگانه+ظهور سنبله	5650g
	Double ridge+Anthesis	برجستگی دوگانه+گرده‌افشانی	5580g
	2nd node detectable+Heading	تشکیل گره دوم+ظهور سنبله	5500g
	2nd node detectable+Anthesis	تشکیل گره دوم+گرده‌افشانی	5030h
	Heading+Anthesis	ظهور سنبله+گرده‌افشانی	4450j

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

جدول ۹- مقایسه میانگین عملکرد دانه و عملکرد زیستی ارقام گندم در برهمکنش تیمارهای سال و رقم در تیمارهای محلول‌پاشی دودآب

Table 9. Mean comparison of grain yield and biological yield of wheat cultivars in interaction of year and cultivar in foliar application of smoke-water treatments

سال Year	ارقام گندم Wheat cultivars		عملکرد دانه Grain yield (t.ha^{-1})	عملکرد زیستی Biological yield (t.ha^{-1})
۱۳۹۹-۱۳۹۸	Azar2	آذر۲	2290b	6210b
2019-2020	Rijaw	ریژاو	3070a	8070a
۱۴۰۰-۱۳۹۹	Azar2	آذر۲	1600d	4360d
2020-2021	Rijaw	ریژاو	2140c	5710c

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

جدول ۱۰- مقایسه میانگین عملکرد دانه، عملکرد زیستی و شاخص برداشت ارقام گندم در برهمکنش تیمارهای رقم و محلول‌پاشی دودآب

Table 10. Mean comparison of grain yield, biological yield and harvest index of wheat cultivars in interaction of cultivar and foliar application of smoke-water treatments

ارقام گندم Wheat cultivars	Foliar application treatments: Growth stages	تیمارهای محلول‌پاشی: مراحل رشد	عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})	عملکرد زیستی Biological yield (kg.ha^{-1})	شاخص برداشت Harvest index (%)
آذر۲ Azar2	Control (No foliar application)	عدم محلول‌پاشی (شاهد)	1610m	4710k	29.3i
	Double ridge	برجستگی دوگانه	2080ij	5850h	30.6f-i
	2nd node detectable	تشکیل گره دوم	1750k	4680k	32.3c-f
	Heading	ظهور سنبله	1700kl	4880k	29.9h-g
	Anthesis	گرده‌افشانی	1570mn	4310l	31.4e-i
	Double ridge+2nd node detectable	برجستگی دوگانه+تشکیل گره دوم	2430f	6420d-f	32.7c-f
	Double ridge+Heading	برجستگی دوگانه+ظهور سنبله	2190gh	5570ij	33.9a-d
	Double ridge+Anthesis	برجستگی دوگانه+گرده‌افشانی	2140hi	5750hi	32.0d-g
	2nd node detectable+Heading	تشکیل گره دوم+ظهور سنبله	2210gh	5930gh	32.1d-g
	2nd node detectable+Anthesis	تشکیل گره دوم+گرده‌افشانی	1990j	5460j	31.3e-i
	Heading+Anthesis	ظهور سنبله+گرده‌افشانی	1780k	4630k	33.0b-e
ریژاو Rijaw	Control (No foliar application)	عدم محلول‌پاشی (شاهد)	2070ij	5980gh	29.7hi
	Double ridge	برجستگی دوگانه	2790b	7360b	32.6c-f
	2nd node detectable	تشکیل گره دوم	2620ed	6660d	33.8b-d
	Heading	ظهور سنبله	2520ef	6530de	30.7f-i
	Anthesis	گرده‌افشانی	2270g	6360ef	33.1b-e
	Double ridge+2nd node detectable	برجستگی دوگانه+تشکیل گره دوم	2960a	7060c	36.1a
	Double ridge+Heading	برجستگی دوگانه+ظهور سنبله	2780b	8060a	29.7hi
	Double ridge+Anthesis	برجستگی دوگانه+گرده‌افشانی	2740bc	7450b	31.6d-h
	2nd node detectable+Heading	تشکیل گره دوم+ظهور سنبله	2790b	7620b	31.6e-h
	2nd node detectable+Anthesis	تشکیل گره دوم+گرده‌افشانی	2640cd	6580ed	34.5a-c
	Heading+Anthesis	ظهور سنبله+گرده‌افشانی	2540ed	6190fg	35.2ab

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

Means in each column followed by similar letter(s) are not significantly different at 5% probability level, using LSD test

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش نشان داد که صفات ارتفاع بوته، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه و برخی از اجزای عملکرد تحت تاثیر تیمارهای محلول‌پاشی دودآب افزایش یافتند. نتایج نشان داد که پایین بودن عملکرد دانه در شرایط کمبود آب عمدتا به دلیل کاهش اجزای عملکرد مانند تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه ارقام گندم بود و محلول‌پاشی دودآب با تاثیر مثبت بر برخی از اجزای عملکرد، تا حدودی باعث رفع نقصان عملکرد دانه ارقام گندم شد، به‌گونه‌ای که محلول‌پاشی در مرحله برجستگی دوگانه+ تشکیل گره دوم باعث بهبود عملکرد دانه در ارقام ریژاو و آذر۲ (به‌ترتیب ۳۰ و ۳۴ درصد افزایش نسبت به شاهد) و ۱۷ درصدی شاخص برداشت در رقم ریژاو شد. در این تحقیق بهترین مرحله برای محلول‌پاشی دودآب در مرحله برجستگی دوگانه+ تشکیل گره دوم شناخته شد. هر چند سازوکار دقیق محلول‌پاشی دودآب هنوز مشخص نیست، لیکن به‌نظر می‌رسد که دودآب از طریق افزایش سطح سایتوکینین یا فراهمی مواد پرورده در درون پیکر گیاه، باعث بهبود کارکردهای گیاه می‌شود. اهمیت بهبود کارکردهای گیاه، به‌خصوص در شرایط دیم و کمبود رطوبت، اجرای تحقیقات بیشتر را برای استفاده از این فناوری در زراعت دیم را ضروری می‌سازد.

سپاسگزاری

بـدین وسـیله از حمایت‌هـای پـردیس کشـاورزی و پژوهش حاضر سپاسگزاری می‌شود.
منابع طبیعی دانشگاه رازی برای تـامین امکانـات اجـرای

References منابع مورد استفاده

Abd El-Rady, A.G. and Koubisy, Y.S.I. 2023. Evaluation of some bread wheat genotypes for grain yield and components under water stress conditions. *Egypt Journal Agricultural Research*, 101(1), pp.110-118. https://dx.doi.org/10.21608/ejar.2023.174635.1300

Aremu, O., Plackova, L. Novak, O. Strik, W.A. Dolezal, K. and VanStaden, J. 2016. Cytokinin profiles in ex vitro acclimatized *Eucomis autumnalis* plants pre-treated with smoke-derived karrikinolide. *Plant Cell Reports*, 35, pp.227-238. https://doi.org/10.1007/s00299-015-1881-y

Chumpookam, J., Lin, H.L. Shiesh, C.C. and Ku, K.L. 2012. Effect of smoke-water on seed germination and resistance to *Rhizoctonia solani* inciting Papaya damping-off. *Hoticulture NCHU*, 34 (1), pp.13-29. https://hort.nchu.edu.tw/public/ckfinder/files/2-%E9%99%B3%E6%B9%84%E7%A6%8E %E8%88%88%E5%A4%A7%E5%9C%92%E8%97%9D-37-1-2-MJT-E4%BF%9D%E5%85%A8.pdf

Demir, I., Ozuaydin, F. Yasar, J. and VanStaden, J. 2012. Effect of smoke-derived butenolide priming treatment on pepper and salvia seeds in relation to transplant quality and catalase activity. *South African Journal of Biotechnology*, 78, pp.83-87. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2011.05.009

Farhat, W.Z.E., Khedr Rania, A. and Shaaban Shimaa, A. 2021. Response of some agronomic, physiological and anatomical characters for some bread wheat genotypes under water deficit in north delta region. *Scientific Journal of Agricultural Sciences*, 3(2), pp.145-160.
https://doi.org/10.21608/sjas.2021.97378.1156

Gholami, B., Noroozi Shahri, F. Mondani, F. Jalali Honarmand, S. and saeedi, M. 2017. Evaluation of some growth indices and grain yield in the wheat in response to urea fertilizer and smoke-water. *Journal of Crop Improvement*, 20(3), pp.609-626. [In Persian]. http://dx.doi.org/10.22059/jci.2018.250390.1929

Govindaraj, M., Masilamani, P. Alex Albert, V. and Bhaskaran, M. 2016. Plant derived smoke stimulation for seed germination and enhancement of crop growth: A review. *Agricultural Reviews*, 37(2), pp.87-100. http://dx.doi.org/10.18805/ar.v37i2.10735

Guarda, G., Padovan, S. and Delogu, G. 2004. Grain yield, nitrogen-use efficiency and baking quality of old and modern Italian bread- wheat cultivars grown at different nitrogen levels. *European Journal of Agronomy*, 21, pp.181-192. https://doi.org/10.1016/j.eja.2003.08.001

Henian, M., Bakheit, B.R. Ali, M.B.M. El-Morshidy, M.A. and Amro, A.M. 2020. Assessment of bread wheat genotypes under normal irrigation and water stress. *Assiut Journal of Agricultural Science*, 51(1), pp.26-26. https://doi.org/10.21608/ajas.2020.104146

Jain, N., Stirk, W.A. and Van Staden, J. 2008. Cytokinin-and auxin-like activity of a butenolide isolated from

plant-derived smoke. *South African Journal of Botany*, 74, pp.327-331. https://doi.org/10.1016/j.sajb.2007.10.008

Iqbal, M., Asif, S. Ilyas, N. Hassan, F. Raja, N.I. Hussain, M. Ejaz, M. and Saira, H. 2018. Smoke produced from plants waste material elicits growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) by improving morphological, physiological and biochemical activity. *Biotechnology Reports*, 17, pp.35-44.

https://doi.org/10.1016/j.btre.2017.12.001

Jalali Honarmand, S., Rasaei, A. Saeidi, M. Ghobadi, M. and Khanizadeh, S. 2016. Impact of foliar application of growth hormones at stages of yield components formation of two wheat cultivars under dry-land conditions. *Crop Physiology Journal*, 8(29), pp.43-57. [In Persian] https://sid.ir/paper/497124/fa

Joshi, S., Choukimath, A. Isenegger, D. Panozzo, J. Spangenberg, G. and Kant, S.2019. Improved wheat growth and yield by delayed leaf senescence using developmentally regulated expression of a cytokinin biosynthesis gene. *Frontiers in Plant Science*, 10, pp.1285.https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01285

Khatoon, A., Rehman, Sh.U. Aslam, M.M. Jamil, M. and Komatsu, S. 2020. Plant-derived smoke affects biochemical mechanism on plant growth and seed germination. *International Journal of Molecular Sciences*. 21, 7760, pp.1-25. http://dx.doi.org/10.3390/ijms21207760

Mehraban, A., Tobe, A. Gholipouri, A. Amiri, E. Ghafari, A. and Rostaii, M. 2019. The effects of drought stress on yield, yield components, and yield stability at different growth stages in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Polish Journal of Environmental Studies*, 28(2), pp.739-746.

https://doi.org/10.15244/pjoes/85350

Moradi, J. 2018. The effect of using water vapor and nitrogen fertilizer on ecological and physiological characteristics of irrigated wheat. M.Sc. Thesis of Agronomy. Razi University of Kermanshah. [In Persian]. https://ganj.irandoc.ac.ir/#/articles/42fcb9b3ca640dd0150bfbf4754b186f

Mousavi, S.S., Abdollahi, M.R. Mazaheri Laqeb, H.A. and Mehrshad, B. 2014. The effect of aqueous extract of plant smoke on some above-ground and below-ground traits of winter wheat. *Plant Production (Agricultural Scientific Journal)*,37(1), pp.81-91. [In Persian]. https://plantproduction.scu.ac.ir

Nagar, S., Ramakrishnan, S. Singh, V.P. Singh, G.P. Dhakar, R. Umesh, D.K and Arora, A. 2015. Cytokinin enhanced biomass and yield in wheat by improving N-metabolism under water limited environment. *Indian Journal of Plant Physiology*, 20(1), pp.31-38.

https://www.researchgate.net/publication/276830881

Noroozi Shahri, F., Gholami, B. Jalali Honarmand, S. Mondani, F. and Saeedi, M. 2017. The effect of smoke-water and nitrogen fertilizer on wheat (*Triticum aestivum* L.) ecophysiological traits. *Iranian Agricultural Research Journal*, 16(2), pp.459-475. [In Persian]. https://doi.org/10.22067/gsc.v16i2.66520

Noroozi Shahri, F., Jalali Honarmand, S. Saeidi, M. and Mondani, F. 2020. Evaluation of growth phytohormones and different concentrations of plant derived smoke applications on growth characteristics

and biological yield of medicinal plants lemon balm and basil. *Journal Crop Improvement*, 22(1), pp.89-102. [In Persian]. https://doi.org/10.22059/jci.2019.280801.2211

Pepperman, A.B. and Cutler, H.G. 1991. Plant-growth-inhibiting properties of some 5- alkoxy-3-methyl 2(5h)-furanones related to strigol. *ACS Symposium Series*, 443, pp.278-287.

https://pubs.acs.org/doi/10.1021/bk-1991-0443.ch023

Sallam, A., Alqudah, A.M. Dawood, M.F. Baenziger, P.S. Börner, A. 2019. Drought stress tolerance in wheat and barley: advances in physiology, breeding and genetics research. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(13). pp.3137. https://doi.org/10.3390/ijms20133137

Shehab-Eldeen, M.T. and Farhat, W.Z.E. 2020. Response of some exotic bread wheat genotypes to reduced irrigation in north delta region of Egypt. *Egyptian Journal of Plant Breeding*, 24(4), pp.799-821. https://ejpb.journals.ekb.eg/?action=export&rf=enw&rc=170588

Suneja, Y., Gupta, A.K. Sharma, A. and Bains, N.S. 2015. Differential response of wild and cultivated wheats to water deficits during grain development: changes in soluble carbohydrates and invertases. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 21(2), pp.169–177. https://doi.org/10.1007%2Fs12298-015-0283-5

Takei, K., Ueda, N. Aok, K. Kuromori, T. Hirayama, T. Shinozaki, K. Yamaya, T. and Sakakibara, H. 2004. AtIPT3 is a key determinant of nitrate-dependent cytokinin biosynthesis in Arabidopsis. *Plant and Cell Physiology*, 45, pp.1053-1062. https://doi.org/10.1093/pcp/pch119

VanStaden, J., Jager, A.K. Light, M.E. and Burger, B.V. 2004. Isolation of the major germination cue from plant-derived smoke. *South African Journal of Botany*, 70(4), pp.654-659. https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30206-4

Waters, M.T. and Smith, S.M. 2013. KAI2-and MAX2-mediated responses to karrikins and strigolactones are largely independent of HY5 in Arabidopsis seedlings. *Molecular Plant*, 6, pp.63–75.

https://doi.org/10.1093/mp/sss127

Zaheer, M.S., Raza, M.A.S. Saleem, M.F. Erinle, K.O. Iqbal, R. and Ahmad, S.2019. Effect of rhizobacteria and cytokinins application on wheat growth and yield under normal vs drought conditions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 50(20), pp.2521-2533.

https://www.researchgate.net/publication/336250679